

В статье рассматривается вопрос определения количества геометрически различных комбинаций отдельного и совместного подключения токовых цепей и цепей напряжения к счетчикам электрической энергии при измерениях согласно методам двух и трех ваттметров

УДК 621.317

Д.Н. Калюжный,
канд. техн. наук
Харьковская национальная
академия городского хозяйства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЗАДАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Введение. Особенностью электрической энергии, как товара, является тот факт, что на его качество могут оказывать влияние как энергоснабжающая организация, так и потребитель электроэнергии [1]. Учитывая тенденцию постоянного роста стоимости электроэнергии, возрастающие требования к её качеству и значительные ущербы, являющиеся следствием передачи и потребления электроэнергии не соответствующей нормам, вопрос оценки качества электрической энергии является актуальным.

На сегодняшний день качество электрической энергии нормируется ГОСТ [2]. Согласно данному документу качество электроэнергии можно оценить только относительно одной точки – точки балансовой принадлежности. Для оценки всего объема передаваемой или потребляемой электроэнергии на заданной территории, очевидно, необходимо провести измерения во всех точках и по результатам измерений сделать соответствующие выводы.

Учитывая технико-экономические факторы, ограничивающие установку и эксплуатацию измерителей показателей качества электроэнергии, вероятности некорректной работы отдельных измерительных устройств, а также вероятности наличия ошибок и сбоев при передаче информации актуальной задачей является определение минимального количества точек измерения и их местоположения, которые позволят охватить некоторый передаваемый объем электроэнергии, отличающийся от полного на заданную величину.

В связи с тем, что потребитель электроэнергии представляет собой электроприемник или группу электроприемников, объединенных технологическим процессом и расположенных на определенной площади, рассмотрим поставленную задачу относительно некоторой заданной территории (рис. 1). В качестве инструментальной среды для решения рассматриваемой задачи была выбрана среда геоинформационных систем, которая позволяет совместно рассматривать пространственно-временные соотношения и взаимосвязанные события на заданной территории.

Всю территорию, на которой находятся потребители, разобьем для наглядности на равные площади (ΔS_i), количество которых соответствует точкам балансовой принадлежности. В рамках каждой ΔS_i площади плотность потребляемой электроэнергии ($\rho_i = w_i / \Delta S_i$, где w_i - потребляемая электроэнергия за некоторый промежуток времени потребителем ΔS_i территории) будем считать постоянной. Указанное разбиение целесообразно делать с учетом территориально-кадастрового, архитектурно-планировочного или другого деления территории.

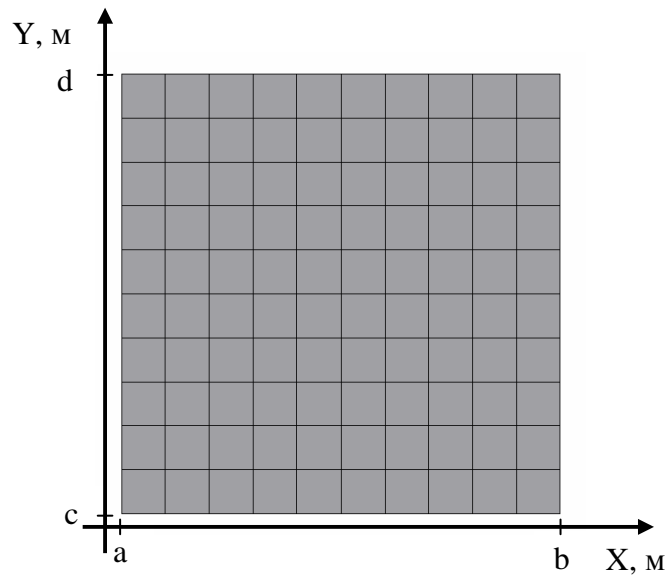


Рис. 1 – Заданная территория с потребителями электроэнергии

В общем виде объем электроэнергии передаваемой потребителям может быть определен следующим образом:

$$V_s = \int_a^b \int_c^d \rho(x, y) dx dy \quad (1)$$

Учитывая формулы численного интегрирования, когда используется метод средних прямоугольников [3] при равномерном набросе точек интегрирования n_j в область (например, единичный квадрат), выражение (1) можно приближенно записать следующим образом:

$$V'_s \approx \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N f(n_j), \quad (2)$$

где N – количество точек интегрирования, $f(n_j) = \rho_j$ – плотность потребляемой электроэнергии в точке с координатами (x_j, y_j) .

Так как отношение $1/N$ представляет собой элементарную часть площади единичного квадрата (Δs_j) , выражение (2) примет вид:

$$V'_s \approx \sum_{j=1}^N \rho_j \cdot \Delta s_j, \quad (3)$$

В качестве последовательности точек $\vec{n}_j = (x_j, y_j)$ целесообразней воспользоваться последовательностью Холтона [4], дающей равномерный наброс и характеризующейся лучшей скоростью сходимости $(1/N)$ по сравнению со случайным набросом $(1/\sqrt{N})$. При этом точки n_j будут определять местоположение и количество точек измерения показателей качества электрической энергии. В случае попадания точек интег-

рирования на участок Δs_i более одного раза, его следует использовать один раз, как для определения точек измерения, так и для определения величины V'_g :

$$V'_g \approx \sum_{i=1}^K \rho_i \cdot \Delta s_i, \quad (4)$$

где K – количество учитываемых участков с площадями Δs_i , зависящее от точности определения величины V'_g .

Критерием окончания процесса определения точек измерения, как это обычно делается в практике численных расчетов, принимается сходимость величины V'_g с увеличением точек интегрирования N к истинному значению V_g :

$$\frac{V_g - V'_g}{V_g} \leq \varepsilon, \quad (5)$$

где ε – точность интегрирования.

Рассмотрим другой подход определения количества точек измерения, который заключается в суммировании слагаемых в сумме (4) в порядке убывания величины произведения $\rho_i \cdot \Delta s_i$. Иными словами, в первую очередь, следует проводить измерения в наиболее емких с точки зрения потребления электроэнергии областях. При этом каждый раз при добавлении очередного слагаемого должна вычисляться относительная погрешность на M -м шаге суммирования:

$$\delta = \frac{V_g - \sum_{i=1}^M \rho_i \cdot \Delta s_i}{V_g}. \quad (6)$$

И в этом случае, если величина δ оказывается меньше требуемой точности ε , определение количества точек измерения прекращается.

Сравним по эффективности два предложенных подхода определения точек измерения показателей качества электрической энергии. В качестве критерия эффективности примем величину количества точек измерения, минимум которых будет соответствовать оптимальному решению. При этом рассмотрим два случая распределения величины ρ на заданной территории. В первом случае ρ распределяется равномерно с различными значениями минимальных и максимальных величин в областях с площадями Δs_i , изображенных на рис. 1. Во втором случае значение ρ в каждой области Δs_i принимается равным случайной величине, распределенной по нормальному закону распределения с варьируемым среднеквадратичным отклонением и постоянным математическим ожиданием.

В табл. 1 – табл. 4 приведены результаты расчетов по оценки эффективности первого и второго подходов определения количества точек измерения показателей качества электроэнергии при условии $\Delta s_i = const$. При этом величины ρ и σ представлены в относительных единицах, а V'_g и количество точек измерения – в процентах.

Таблица 1. Количество точек измерения при равномерном распределении ρ в случае использования последовательности Холтона

Охватываемый объем V'_j , %	$\rho_{\min} / \rho_{\max}$									
	$\frac{100}{100}$	$\frac{90}{110}$	$\frac{80}{120}$	$\frac{70}{130}$	$\frac{60}{140}$	$\frac{50}{150}$	$\frac{40}{160}$	$\frac{30}{170}$	$\frac{20}{180}$	$\frac{10}{190}$
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
95	95,0	95,5	95,3	95,4	95,5	95,5	95,5	95,5	95,0	94,9
90	90,0	90,5	90,5	90,5	90,3	90,2	90,3	90,0	90,6	90,2
85	85,0	85,7	85,3	85,5	85,3	85,6	85,5	86,1	85,8	85,6
80	80,0	80,4	80,7	80,5	80,7	80,5	80,4	80,5	80,0	80,5

Таблица 2. Количество точек измерения при равномерном распределении ρ в случае суммирования слагаемых $\rho_i \cdot \Delta s_i$ в порядке убывания

Охватываемый объем V'_j , %	$\rho_{\min} / \rho_{\max}$									
	$\frac{100}{100}$	$\frac{90}{110}$	$\frac{80}{120}$	$\frac{70}{130}$	$\frac{60}{140}$	$\frac{50}{150}$	$\frac{40}{160}$	$\frac{30}{170}$	$\frac{20}{180}$	$\frac{10}{190}$
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
95	95,0	95,0	94,0	94,0	89,9	91,4	89,7	87,9	85,3	82,0
90	90,0	89,7	88,2	87,0	85,4	83,5	81,4	78,9	75,9	72,1
85	85,0	84,0	82,9	80,9	78,7	76,5	74,3	70,9	67,9	66,1
80	80,0	79	77	74,9	72,3	70,1	67,4	64,3	61,7	58,9

Таблица 3. Количество точек измерения при нормальном распределении ρ в случае использования последовательности Холтона

Охватываемый объем V'_j , %	σ , о.е.					
	0	3	7	12	17	22
100	100	100	100	100	100	100
95	95,0	96,0	96,2	97,0	97,0	97,0
90	90,0	91,0	92,0	92,0	93,0	93,1
85	85,0	86,0	87,0	88,0	89,0	89,9
80	80,0	81,0	82,0	83,5	84,8	85,9

Таблица 4. Количество точек измерения при нормальном распределении ρ в случае суммирования слагаемых $\rho_i \cdot \Delta s_i$ в порядке убывания

Охватываемый объем V'_j , %	σ , о.е.					
	0	3	7	12	17	22
100	100	100	100	100	100	100
95	95	95	95	94	93	91,8
90	90,0	90,0	89,0	88,0	86,3	84,7
85	85,0	85,0	83,8	82,0	80,2	78,3
80	80,0	79,8	78,0	76,3	74,7	72,3

Как следует из приведенных результатов при равномерном распределении ρ и использовании последовательности Холтона количество точек измерения приблизительно соответствует охватываемому объему потребляемой электроэнергии V'_j в %. При равномерном распределении ρ и суммировании слагаемых $\rho_i \cdot \Delta s_i$ в порядке убывания в случае $\rho_{\min}/\rho_{\max} \leq 0,81$ количество точек измерения начинает уменьшаться по сравнению с охватываемым объемом V'_j в %. При нормальном законе распределения ρ и использовании последовательности Холтона количество точек измерения можно приблизительно считать равным охватываемому объему потребляемой электроэнергии V'_j в % при $\sigma < 3$ о.е. При большем значении σ количество точек измерения увеличивается. При нормальном законе распределения ρ и суммировании слагаемых $\rho_i \cdot \Delta s_i$ в порядке убывания количество точек измерения можно приблизительно считать равным охватываемому объему потребляемой электроэнергии V'_j в % при $\sigma \leq 3$ о.е. При большем значении σ число точек измерения начинает уменьшаться по сравнению с охватываемым объемом V'_j в %.

Обобщая вышеприведенные результаты, можно сделать следующий вывод. При равномерном распределении ρ в случае $\rho_{\min}/\rho_{\max} \leq 0,81$ второй подход оказывается эффективнее первого. При нормальном распределении ρ и $\sigma > 3$ о.е. второй подход также является более эффективным. При прочих условиях первый и второй подходы с точки зрения эффективности равнозначны.

Аналогичные расчеты были проведены и для случая $\Delta s_i = var$ на примере территории, изображенной на рис. 2. Результаты расчетов по оценке эффективности использования первого и второго подходов определения количества точек измерения показателей качества электроэнергии при $\Delta s_i = var$ приведены в табл. 5 – табл. 8.

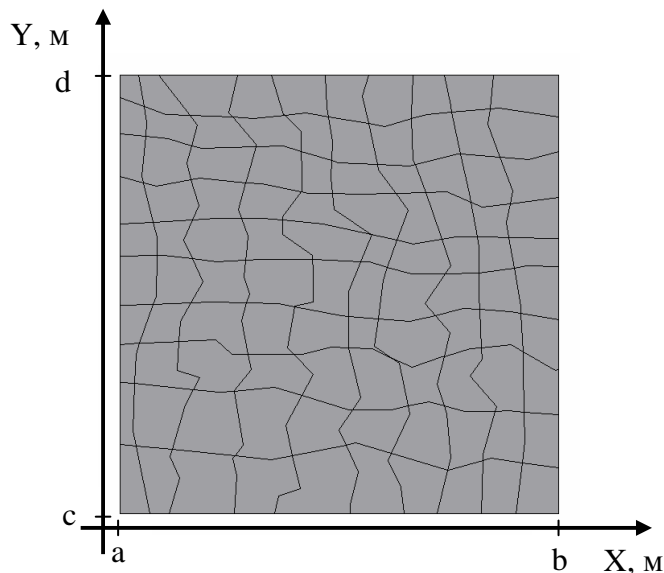


Рис. 2 – Заданная территория с $\Delta s_i = var$

Таблица 5. Количество точек измерения при равномерном распределении ρ в случае использования последовательности Холтона

Охватываемый объем V'_j , %	$\rho_{\min} / \rho_{\max}$									
	$\frac{100}{100}$	$\frac{90}{110}$	$\frac{80}{120}$	$\frac{70}{130}$	$\frac{60}{140}$	$\frac{50}{150}$	$\frac{40}{160}$	$\frac{30}{170}$	$\frac{20}{180}$	$\frac{10}{190}$
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
95	93,0	93,4	93,5	93,4	93,7	93,5	93,0	92,7	93,2	93,4
90	87,0	87,0	87,0	87,1	87,3	86,7	87,5	87,4	87,4	87,0
85	81,0	81,0	81,0	80,9	81,0	81,1	80,9	81,3	80,9	81,4
80	76,0	75,9	75,5	75,3	75,9	75,4	75,6	76,1	74,7	75,8

Таблица 6. Количество точек измерения при равномерном распределении ρ в случае суммирования слагаемых $\rho_i \cdot \Delta s_i$ в порядке убывания

Охватываемый объем V'_j , %	$\rho_{\min} / \rho_{\max}$									
	$\frac{100}{100}$	$\frac{90}{110}$	$\frac{80}{120}$	$\frac{70}{130}$	$\frac{60}{140}$	$\frac{50}{150}$	$\frac{40}{160}$	$\frac{30}{170}$	$\frac{20}{180}$	$\frac{10}{190}$
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
95	90,0	89,3	89,2	88,9	88,6	88,1	86,8	84,8	82,8	80,1
90	82,0	81,6	81,5	80,9	79,7	79,0	77,5	75,5	72,1	69,5
85	75,0	74,4	74,4	73,6	72,5	71,4	69,7	67,0	64,9	62,1
80	69,0	68,9	68,0	67,1	65,9	64,5	63,3	60,6	57,5	54,7

Таблица 7. Количество точек измерения при нормальном распределении ρ в случае использования последовательности Холтона

Охватываемый объем V'_j , %	σ , о.е.					
	0	3	7	12	17	22
100	100	100	100	100	100	100
95	93,0	94,0	94,0	94,9	95,0	95,0
90	87,0	87,7	88,0	89,0	89,3	90,0
85	81,0	81,7	82,9	83,9	84,9	85,7
80	76,0	76,0	77,0	78,1	79,3	80,1

Таблица 8. Количество точек измерения при нормальном распределении ρ в случае суммирования слагаемых $\rho_i \cdot \Delta s_i$ в порядке убывания

Охватываемый объем V'_j , %	σ , о.е.					
	0	3	7	12	17	22
100	100	100	100	100	100	100
95	90,0	90,0	89,9	89,5	89,3	88,5
90	82,0	82,0	81,9	81,8	81,1	80,5
85	75,0	74,1	74,3	73,9	73,3	72,5
80	69,0	68,5	69,1	68,9	68,5	67,9

По приведенным результатам видно, что выводы для случая территории с $\Delta s_i = const$ распространяются и на случай с $\Delta s_i = var$, но с другими количественными характеристиками по числу и местоположению точек измерения, которые будут индивидуальны для каждого конкретного случая разбиения территории на Δs_i площади.

Выводы.

1. Предложено два подхода определения количества и местоположения точек измерения показателей качества электроэнергии для оценки всего объема передаваемой электроэнергии потребителям V_ρ на заданной территории, которые основаны на численном интегрировании величины V_ρ' с использованием теоретико-числовой сетки Холтона и суммирования величины произведения плотности потребляемой электроэнергии и площади территории потребителя $\rho_i \cdot \Delta s_i$ в порядке убывания.
2. При равномерном распределении плотности потребляемой электроэнергии ρ по площадям Δs_i в случае $\rho_{\min} / \rho_{\max} \leq 0,81$ второй подход оказывается эффективнее первого. При нормальном распределении ρ и $\sigma > 3$ о.е. второй подход также является более эффективным. При прочих условиях первый и второй подходы с точки зрения эффективности равнозначны.

Литература

1. Качество электрической энергии в системах электроснабжения: Уч. Пособие / Под редакцией О.Г. Гриба. - Харьков: ХНАГХ, 2006. - 281 с.
2. ГОСТ 13.109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск.: ИПК Изд-во стандартов. - 1998. –30 с.
3. Волков Е.А. Численные методы. - М.: Наука, 1987. - 248 с.
4. И.М. Соболев. Многомерные квадратные формулы и функции Хаара. - М. «Наука», 1969. – 288 с.

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ТА МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ТОЧОК ВИМІРІВ ПРИ ОЦІНЦІ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ЗАДАНІЙ ТЕРИТОРІЇ

Д.М. Калюжний

У статті розглянуте питання визначення кількості та місцезнаходження точок вимірів показників якості електричної енергії при оцінці заданої території за якістю електричної енергії, що доставляється її споживачам.

DETERMINATION OF THE NUMBERS LOCATION OF MEASUREMENT POINTS WHEN ESTIMATING POWER QUALITY ON A SPECIFIED AREA

D.N. Kalyuzhniy

The problem of determining the number and location of measurement points of power quality indices when estimating a specified area on the quality of power supplied is considered in the article.